

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

Sistemi per prolungare la vita di scaffale di prodotti frutticoli di IV gamma

This is a pre print version of the following article:

Original Citation:

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/1585951> since 2016-07-21T12:18:37Z

Terms of use:

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

Sistemi per prolungare la vita di scaffale di prodotti frutticoli di IV gamma

Giovanna Giacalone

Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali ed Alimentari, Università di Torino

Ricezione:

Accettazione:

Different methods to extend fruit fresh cut shelf life

Abstract. Minimal processing has been defined as a combination of procedures, such as washing, sorting, trimming, peeling and slicing or chopping, that does not affect the fresh-like quality of the food. The ready-to-eat fruit and vegetable market has rapidly grown in recent years due to the health benefits associated with these foods and to the increased health-consciousness of consumers with busy lifestyles and increased purchase power. Nevertheless, because the tissular integrity of fruits is more easily altered during processing, ready-to-use commodities are more perishable than the original materials. The main factors affecting the loss of consumer acceptability are discoloration, enzymatic browning, dryness and texture loss. These parameters determine the visual appearance of the fruits. For this reason, the fruit processing industry requires the development of techniques capable of keeping safe shelf life, preserving the original visual and organoleptic fresh-like characteristics of fresh-cut products. Another problem associated with the ready to eat products, is the microbiological growth. The metabolism of molds and yeasts is responsible for the qualitative decay of minimally processed fruits, so the products sanitation became essential. Fresh cut industry usually uses chlorine, but the possible formation of carcinogenic chlorinated compounds in water requires finding alternative methods. Natural antimicrobials, ozone, chlorine dioxide, UV and cold gas plasma are some of the different treatments proposed. In parallel or in combination with these treatments, actions are carried out to limit or inhibit the oxidative browning and the firmness loss. Ascorbic acid is the compound most extensively used to avoid the oxidative browning of the fruits, however nowadays there are many alternatives, chemical or physical, due to its limited effect over

time. Regarding firmness loss, instead, the most common way to contrast the softening is the use of calcium salts. Even in this case, the products, the concentration and the methods of use are many and different and have different effect on fruits.

The edible coatings could be effective systems to preserve fresh cut fruits quality, their actions are due to the barrier forming against external agents; in addition, they could carry functional ingredients (antioxidant, antimicrobial, calcium salts) to ready to eat fruits. In conclusion, the treatments aimed to preserve minimally processed fruits quality could be chemical or physical, innovative or more established, cheap or expensive or they could require complex equipment. However, sometimes, effective treatments are not suitable because they are too expensive or complex or not accepted by the consumer. This review describes the most significant contributions regarding preservation of fresh-cut fruits in order to evaluate their effectiveness in preserving quality traits

Key words: color, browning, antioxidant, firmness, fresh cut, minimally processed, MAP.

Introduzione

Gli ortofrutticoli di IV gamma sono prodotti pronti all'uso o al consumo, che essendo minimamente lavorati, mantengono quasi inalterate le caratteristiche nutritive e sensoriali dell'analogo prodotto fresco. Fecero la loro comparsa sul mercato negli anni '60 del secolo scorso, negli Stati Uniti, per soddisfare le esigenze di una società in forte evoluzione e per dare nuova vita ad un settore che era stagnante. E' però durante gli anni '80 che si affermano i cosiddetti *ready to eat*, prodotti cioè pronti per essere utilizzati, caratterizzati da praticità d'uso e salubrità, per un consumatore che non poteva o voleva dedicare troppo

* giovanna.giacalone@unito.it

tempo alla preparazione dei cibi e contemporaneamente desiderava un'alimentazione sana. Si trattava prevalentemente solo di insalate e carote a *julienne* ed i prodotti erano molto distanti da quelli che ormai siamo abituati a vedere nei frigoriferi della GDO. Da allora, tuttavia, i prodotti di IV gamma hanno conosciuto un'enorme espansione non solo negli USA ma in tutto il modo occidentale. In Europa la loro comparsa è più tardiva, si colloca circa un decennio dopo, ma è fra gli anni '80 e '90 che il settore conosce veramente un *boom*, prima in Francia e poi nel resto d'Europa, principalmente nei paesi nordici. In Italia i prodotti minimamente lavorati arrivarono alla metà degli anni '80 (Bacarella e Timpanaro, 2007). L'introduzione sul nostro mercato di questi nuovi prodotti incontrò subito il favore dei consumatori ma, dopo un'iniziale crescita delle vendite, si verificò un rallentamento e una conseguente diminuzione del mercato, poiché le confezioni di IV gamma erano frutto degli eccessi produttivi del comparto tradizionale, spesso contraddistinti da ridotta qualità. Occorre arrivare a tempi più recenti perché si affermi, fra i produttori e di riflesso fra i consumatori, l'idea che alla IV gamma deve andare una materia prima scelta e per quanto possibile dedicata. Il prodotto minimamente lavorato è, per sua natura, estremamente delicato e fortemente deperibile, per ottenere un prodotto qualitativamente superiore che ne giustifichi l'elevato prezzo, è necessario partire da una materia prima di eccellente qualità.

Il successo della IV gamma è legato a molti fattori, in primo luogo al desiderio di arricchire la dieta con alimenti sani. Ormai è diffusa la consapevolezza che il consumo regolare di frutta e ortaggi allontana il rischio di diverse patologie, pertanto la possibilità di avere a disposizione prodotti vegetali già pronti all'uso, non può che facilitarne il consumo. A ciò si unisce la praticità e l'elevato contenuto di servizio di questi prodotti che vanno a conciliarsi con ritmi di vita sempre più frenetici.

Secondo recenti dati le vendite italiane del comparto sono ancora molto positive con un aumento, nell'anno in corso rispetto all'analogo periodo dello scorso anno del 3,1% dei volumi venduti, con un giro di affari, fra verdura e frutta, di circa 750 milioni di euro (Fresh Plaza – IRi, 2015). Anche in un periodo di crisi come quello che stiamo attraversando i *minimally processed* hanno mantenuto una grossa fetta di mercato se pur con qualche rallentamento, confermandosi uno dei pochi settori agricoli in attivo. E' quindi lecito ipotizzare che ci siano ulteriori margini di crescita soprattutto se saranno garantiti ed efficacemente comunicati al consumatore elevati standard qualitativi

e sicurezza alimentare, possibilmente associati a processi produttivi e *packaging* rispettosi dell'ambiente.

La frutta di IV gamma

Attualmente i prodotti *fresh cut* coprono un'ampia gamma di tipologie. Accanto alle insalate, monovarietalì o plurivarietalì, che sono le principali referenze, ci sono molti altri articoli. Nella definizione di *prodotti freschi confezionati e pronti per il consumo* rientrano infatti anche gli ortofrutticoli preparati per essere cotti, la frutta privata di buccia e tagliata, le specie aromatiche e, oltre alle buste, le vaschette monodose, talvolta fornite di forchettine e condimenti.

In questo contesto si colloca la frutta, che risulta marginale rispetto agli ortaggi pronti al consumo. Anche in questo caso si è assistito nel periodo giugno 2014-maggio 2015, a una crescita quasi del 10% rispetto all'analogo periodo dell'anno precedente con un valore globale delle vendite di quasi 16 milioni di euro (Fresh Plaza - IRi, 2015).

Da questi pochi dati appare evidente l'interesse crescente verso questo tipo di produzioni che tuttavia risentono di maggiori difficoltà produttive legate alla maggiore complessità fisiologica. Nel corso di questo lavoro si cercherà di illustrare le tecnologie in uso o sperimentali che sono pensate specificamente per migliorare le prestazioni del prodotto *fresh cut* a base di frutta.

Deperibilità dei prodotti di IV gamma

I prodotti di IV gamma sono caratterizzati da elevata deperibilità, la cui causa è da ricercare nelle operazioni di taglio, pelatura confezionamento a cui la materia prima è sottoposta. Le lavorazioni favoriscono una fisiologia accelerata accompagnata da veloce degradazione che si manifesta con cambiamenti di natura biochimica, organolettica e sovente anche con una abbondante proliferazione microbica, anche quando le lavorazioni sono minime.

La fisiologia dei prodotti minimamente trasformati è riconducibile alla fisiologia che si instaura a seguito di traumi (ferite dei tessuti) e/o stress. L'entità della risposta alla ferita è funzione di più fattori: specie e cultivar, concentrazione di O₂ e CO₂ nell'atmosfera, temperatura, umidità relativa. I tessuti che subiscono un trauma da ferita reagiscono con una serie di risposte atte a ridurre il disordine fisiologico conseguenza del trauma. Per ottenere un prodotto di qualità è quindi necessario minimizzare gli effetti delle lavorazioni.

L'ossidazione conseguente all'esposizione delle superfici di taglio si traduce in imbrunimenti che sono

un effetto dell'ossidazione dei fenoli in presenza di enzimi, principalmente polifenolossidasi, (PPO) che catalizzano la reazione con produzione di pigmenti scuri. L'ossidazione determinata anche da lavaggi con acque clorate, favorisce la degradazione dei costituenti che può essere accompagnata dalla riduzione dei nutrienti.

L'aumento nella produzione di etilene dovuto ai traumi da lavorazione, si accompagna ad un incremento dell'intensità respiratoria e ad un'accelerazione dei processi di senescenza, con perdita di consistenza, colore e produzione di *off flavours*.

Le produzioni di quarta gamma possono essere accompagnate anche da proliferazioni microbiche dovute a contaminazioni della materia prima (contaminazione primaria) o più sovente a inquinamenti che insorgono durante le lavorazioni (contaminazione crociata).

Nel caso della frutta lo stadio di maturazione può influire in misura determinante sulla durata della vita di scaffale dei prodotti lavorati. Il deterioramento dei tessuti e la perdita delle caratteristiche sensoriali desiderate avviene più rapidamente che negli ortaggi (fig. 1) e ciò comporta la necessità di lavorare prodotti scarsamente maturi. L'attività enzimatica, connessa con le variazioni di consistenza e di colore, e la proliferazione microbica, favorita dall'elevato contenuto zuccherino che caratterizza i frutti, richiedono un'ocu-

lata gestione della catena del freddo che risulta irrinunciabile in tutta la filiera per garantire il successo delle lavorazioni

Interventi per prolungare la vita di scaffale

Trattamenti Antimicrobici

La proliferazione microbica è indubbiamente una delle cause della ridotta vita di scaffale dei prodotti frutticoli minimamente lavorati, con produzione di odori sgradevoli (*off flavours*), decolorazioni, perdita di consistenza. In generale l'acidità dei frutti risulta essere un deterrente nei confronti della proliferazione dei batteri mentre l'elevato contenuto in zuccheri favorisce l'incremento di muffe e lieviti (Martin-Belloso *et al.*, 2006). Di conseguenza ridurre l'inoculo iniziale di questi microrganismi può determinare un significativo aumento della vita di scaffale, soprattutto se l'intervento è associato a basse temperature di conservazione (inferiori a 5 °C) e ad atmosfere modificate. Contaminazione batterica può verificarsi invece in frutti che hanno un pH neutro come è il caso del melone (Lamikanra *et al.* 2000) che viene spesso usato nei prodotti IV gamma.

Un sistema per ridurre l'inoculo iniziale consiste nel lavaggio della materia prima con acqua clorinata.

Il lavaggio dei frutti interi con acqua fredda addizionata o meno di cloro è pratica necessaria per elimi-



Fig. 1 - Macedonia di frutta fresh cut dopo 3 giorni (sin) e 6 giorni (dx) di conservazione a 4°C

Fig. 1 - Fresh cut fruits stored 3 days (left) and 6 days (right) (4°C)

nare residui terrosi o altri eventuali contaminanti. Il lavaggio che segue invece la lavorazione (pelatura e taglio), che sovente si accompagna ad altri trattamenti, ha lo scopo di diminuire l'inoculo microbico e di rimuovere dalle superfici di taglio i succhi cellulari, che sono un substrato ottimale per la loro proliferazione. Il lavaggio è effettuato con acqua a cui è aggiunto cloro in differenti formulati. La temperatura dell'acqua è mantenuta fra 0 e 1 °C e il pH deve rimanere uguale a 7 (Hurst, 1995). Il Cloro viene addizionato solitamente sotto forma di NaOCl, in concentrazioni variabili. Esiste una vasta letteratura che testimonia il largo uso del cloro nella sanitizzazione della frutta usata come materia prima. La concentrazione del cloro nell'acqua di lavaggio delle pomacee sia prima che dopo le operazioni di taglio va dalle 50 alle 200 ppm (Soliva-Fortuny *et al.*, 2003; Bett *et al.*, 2001; Lanciotti *et al.*, 1999), mentre sono riportate concentrazioni crescenti di NaOCl (50-1.000 ppm) per il melone (Portela e Cantwell, 2001; Larson e Johnson, 1999).

E' noto tuttavia, che il cloro ha l'unico scopo di ritardare la proliferazione microbica, mentre non ha effetti sui problemi degenerativi di ordine fisiologico e biochimico.

Inoltre, quando si utilizza acqua clorinata su frutta lavorata è necessario effettuare un lavaggio successivo per eliminare i residui di cloro che possono alterare il sapore dei frutti.

Il cloro utilizzato nella forma di ipoclorito, infatti, determina, in presenza di matrici organiche, un elevato rischio di formazione di sottoprodotti alogenati (triclorometano) ed altri sottoprodotti potenzialmente pericolosi per l'ambiente e la salute umana (Fawell, 2000). Per questo motivo si stanno cercando alternative con il duplice scopo di trovare un trattamento più efficace ed evitare i rischi connessi all'uso dell'ipoclorito.

Fra i trattamenti indagati recentemente rientra il ClO₂. Esiste una scarsa conoscenza della tossicità dei sottoprodotti del diossido di cloro, tuttavia fino a questo momento non emergono indicazioni relative a possibili pericoli connessi con il prodotto o i suoi derivati. Il ClO₂ è stato valutato positivamente per quanto concerne l'efficacia nel combattere *Salmonella*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes* su lattuga, cavolo e carote di IV gamma, ma ha evidenziato anche un benefico effetto nei confronti di lieviti e infezioni fungine su mele, pesche, pomodori e cipolle (Lopez *et al.*, 2010; Sy *et al.*, 2005). Fra gli altri trattamenti ipotizzati ci sono gli acidi organici utilizzati dopo la pelatura dei frutti mediante trattamenti di immersione. Gli acidi agiscono abbassando il pH del substrato inibendo lo sviluppo della microflora. Ma la

loro azione si esplica anche mediante l'alterazione del trasporto e della permeabilità delle membrane (Rico *et al.* 2007). Gli acidi comunemente impiegati sono l'acido citrico, lattico e ascorbico. L'acido citrico ad esempio, è stato efficacemente usato con questo scopo su arance (Pao e Petracek, 1997), mele (Rocha *et al.*, 1998) e banane (Moline *et al.*, 1999) *fresh cut*.

L'attività antimicrobica di prodotti di origine naturale è al centro di numerosi recenti studi favoriti dall'interesse dei consumatori per prodotti non trattati con molecole di sintesi. I più studiati risultano essere gli oli essenziali per la loro efficacia contro molti microrganismi anche patogeni (Dorman e Deans, 2000). I meccanismi di azione dei singoli principi attivi che caratterizzano i diversi oli sono oggetto di studio per approfondire le conoscenze relative ai microrganismi bersaglio e alle molecole attive (Vazquez *et al.*, 2001). L'azione degli oli essenziali sui microrganismi è associata alla degradazione della parete cellulare, a danni alla membrana citoplasmatica e alle proteine di membrana, alla fuoriuscita del contenuto cellulare, o alla coagulazione del citoplasma. Tuttavia mentre l'efficacia degli oli essenziali *in vitro* è ben documentata, i lavori che riguardano l'inibizione della crescita microbica in prodotti alimentari, sono piuttosto limitati. Esistono infatti parecchi ostacoli al loro impiego corrente poiché si tratta di sostanze scarsamente solubili che possono interferire sulle caratteristiche sensoriali dei prodotti. Tuttavia l'impiego degli oli essenziali per il contenimento della crescita microbica è stato proposto per numerosi prodotti frutticoli *fresh cut*. L'aggiunta di olio essenziale di agrumi a macedonie di frutta minimamente lavorata è risultata soddisfacente negli studi di Lanciotti *et al.* (2004). In particolare il 2% (V/V) di olio essenziali di arancia, mandarino, cedro, limone e lime è stato efficace nei confronti della proliferazione naturale di microrganismi, ma anche di ceppi di *Saccharomyces cerevisiae* inoculati in macedonie di frutta, il gusto dei frutti inoltre si è mantenuto inalterato (Lanciotti *et al.* 2004) (fig. 2).

Componenti degli oli essenziali di origano (carvacrolo) e cannella (acido cinnamico) in concentrazioni variabili (0.075-0,225 % v/v) sono risultati efficaci nel contrastare la proliferazione microbica in kiwi e melone IV gamma (Roller e Seedhar, 2002), ma si sono verificate tuttavia anche indesiderate variazioni di colore e odore.

Alcuni autori hanno ottenuto efficaci risultati contro lieviti, muffe e batteri aerobi trattando mango *fresh cut* con soluzioni acquose di vanillina (0.12%, p/v) (Ngarmsak *et al.*, 2006), la conservazione dei prodotti così trattati si è protratta per 14 giorni a 5 °C e 7 giorni con conservazione a 10 °C.

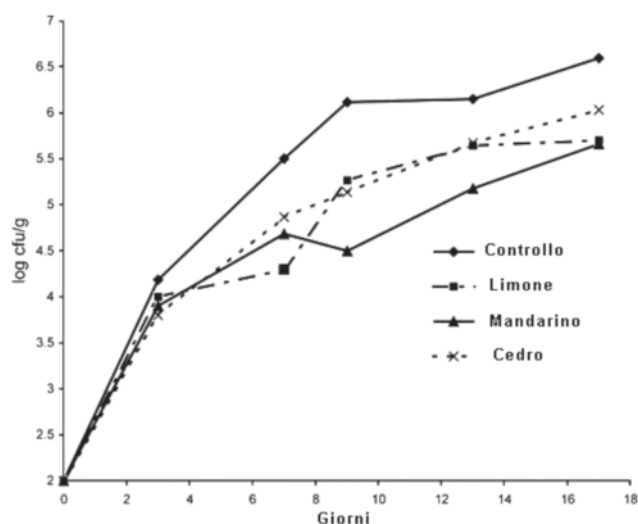


Fig. 2 - Sviluppo del lievito *Saccharomyces cerevisiae* inoculato in macedonie di frutta *fresh cut* trattate con differenti oli essenziali e conservate a 13 °C (da Lanciotti *et al.*, 2004).

Fig. 2 - Yeast log counts of fruit based salads inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* stored at 13 °C in presence of 200 ppm of different citrus essential oils (from Lanciotti *et al.*, 2004).

Immersioni in vanillina a concentrazioni più elevate (0.18%, p/v) hanno inibito del 37 e 66% rispettivamente, la crescita microbica su fette di mela 'Empire' e 'Crispin', dopo 19 giorni di conservazione (Rupasinghe *et al.*, 2006).

Recentemente vanillina (1 o 2 g L⁻¹) e acido cinnamico (0.15 e 0.3 g L⁻¹) sono stati utilizzati in soluzione acquosa su melone *fresh cut* conservato per 10 giorni a 5°C. Il risultato è stato un efficace contrasto dei batteri mesofili e delle *Enterobacteriaceae* (Silveira *et al.*, 2015).

Un'altra possibilità per ridurre lo sviluppo microbico è l'impiego di ozono. E' noto che l'azione dell'ozono si esplica attraverso il suo elevato potere ossidante che determina danneggiamento delle cellule microbiche. L'ozono trova impiego nella depurazione delle acque e nella sterilizzazione di superfici o macchinari, ma si sta verificando la possibilità di impiegarlo anche per la sanificazione di frutta e ortaggi interi o *fresh cut*. Concentrazioni di ozono comprese fra 0.15 e 5.0 ppm sono risultate efficaci nel combattere la proliferazione di batteri ma anche lieviti e muffe (Jay *et al.*, 2005).

Selma *et al.* (2008) hanno provato che concentrazioni elevate di ozono (10.000 ppm per 30 minuti sotto vuoto) riducono la presenza di *Salmonella* precedentemente inoculata su meloni a differenti stadi di maturazione (da non maturo a maturo) con una maggiore efficacia sui frutti meno maturi.

Tuttavia i trattamenti con ozono hanno come conseguenza negativa la riduzione del contenuto in Vit. C (Allothman *et al.*, 2010).

In definitiva, i dati bibliografici suggeriscono che i differenti sistemi utilizzati per sanitizzare la frutta *fresh cut* non riescono a garantirne la qualità microbiologica senza alterarne in misura differente le caratteristiche sensoriali (Ongeng *et al.*, 2006).

Trattamenti antiimbrunimento

Una delle problematiche collegata alla produzione di frutta di IV gamma è l'imbrunimento dei tessuti che si verifica come conseguenza del taglio e della pelatura. La rottura delle membrane in seguito alle lavorazioni, favorisce il contatto fra enzimi ossidativi e substrati. I tessuti esposti all'aria subiscono quindi ossidazione poiché si determina un aumento dell'attività enzimatica. Sulle superfici di taglio si accumulano pigmenti scuri che derivano dall'ossidazione dei polifenoli i quali sono i prodotti di reazioni catalizzate dall'enzima fenilalanina ammonio liasi (PAL), la cui attività è indice di potenziale imbrunimento. I fenoli in presenza di ossigeno e dell'enzima polifenolo ossidasi (PPO) sono ossidati a chinoni, composti molto reattivi che polimerizzano formando i pigmenti scuri. Per alcuni frutti, come melone ed agrumi, i cambiamenti di colore sono principalmente imputabili all'attività degli enzimi del gruppo delle perossidasi (POD) che favorisce i fenomeni ossidativi soprattutto in presenza di determinati substrati (perossido di idrogeno). In definitiva l'intensità dei fenomeni di imbrunimento sono influenzati dall'entità dell'attività enzimatica e dal contenuto di polifenoli nei frutti. Tale contenuto è poi relativo a differenti fattori quali la cultivar, lo stadio di maturazione o l'ambiente di coltivazione (Macheix *et al.*, 1990).

I fenomeni di imbrunimento e la possibilità di inibirli, sono e sono stati oggetto di numerosissimi studi che hanno preso in considerazione differenti specie frutticole e un elevato numero di trattamenti, variabili in funzione dell'agente studiato, delle dosi e delle modalità di trattamento (tab. 1).

Fra i primi prodotti utilizzati per la prevenzione dell'imbrunimento, si collocano i solfiti la cui tossicità ne ha sconsigliato l'utilizzo già da diversi anni (Iyengar e McEvily 1992).

La più frequente alternativa ai solfiti è l'acido ascorbico (AA) con i suoi derivati. La sua efficacia è stata confermata da numerosi studi, su diverse tipologie di frutti *fresh cut* e a concentrazioni differenti (0,5-4%) (Agar *et al.*, 1999; Dorantes-Alvarez *et al.*, 1998; Rocha *et al.*, 1998). L'effetto inibitorio dell'acido ascorbico è dovuto alla riduzione dei chinoni, prodotti di reazione delle PPO, a substrati fenolici. Pizzocaro *et al.* (1993) hanno rilevato una riduzione dell'attività enzimatica della PPO dal 90 al 100% su

Tab. 1 - Trattamenti finalizzati al mantenimento del colore e della consistenza su frutta *fresh cut* (modificato da Oms-Oliu *et al.*, 2010).
 Tab. 1 - Treatments to maintain color and firmness of fruit *fresh cut* (modified by Oms-Oliu *et al.*, 2010).

Specie	Trattamento	Bibliografia
Melo	0,5% CaL	Alandes <i>et al.</i> , 2006
	0,001 M HR + 0,5 M IAA + 0,05 M CaP + 0,025 Mcys	Buta <i>et al.</i> , 1999
	7% CaA	Fan <i>et al.</i> , 2005
	0,01% HR + 0,5 AA	Luo e Barbosa-Cánovas, 1997
	1% AA + 0,2% CA oppure 0,5% NaCl	Pizzocaro <i>et al.</i> , 1993
	4% CaP	Quiles <i>et al.</i> , 2007
	1% NAC + 1% GSH + 1% LCa	Raybaudi-Massilia <i>et al.</i> , 2007
	0,75% AA + 0,75% CaCl ₂	Rocha <i>et al.</i> , 1998
	1% AA + 0,5% CaCl ₂	Soliva-Fortuny <i>et al.</i> , 2001
	0,05% Acido cogico	Son <i>et al.</i> , 2001
	0,5% AA + 1% CaCl ₂ + 0,1% PA	Varela <i>et al.</i> , 2007
Banana	0,5 M CA + 0,05 m NAC	Moline <i>et al.</i> , 1999
Kiwi	1% CaCl ₂ oppure 2% CaL	Agar <i>et al.</i> , 1999
Pesco	2% AA + 1% CaL	Gorny <i>et al.</i> , 1999
Pero	2% AA + 0,01% HR + 1% CaCl ₂	Arias <i>et al.</i> , 2008
	0,01% HR + 0,5% AA + 1% CaL	Dong <i>et al.</i> , 2000
	2% AA + 1% CaL + 0,5% cys	Gorny <i>et al.</i> , 2002
	0,75% NAC + 0,75 GSH	Oms-Oliu <i>et al.</i> , 2006
	4% NaE + 0,2% CaCl ₂ + 100 ppm HR	Sapers e Miller, 1998
	1% AA + 0,5 CaCl ₂	Soliva-Fortuny <i>et al.</i> , 2002c
Mango	0,001% M HR + 0,5% M AA	González-Aguilar <i>et al.</i> , 2000
Melone	3% CaCl ₂	Souza <i>et al.</i> , 2006
	2,5% CaL	Luna-Guzmán e Barret, 2000
	1% AA + 0,5% CaCl ₂	Oms-Oliu <i>et al.</i> , 2007
Anguria	2% CaCl ₂	Mao <i>et al.</i> , 2005

CaL: Lattato di calcio; HR: Esilresorcinolo; CaP: Propionato di calcio; Cys: Cisteina; CaA: ascorbato di calcio; AA: Acido ascorbico; CA: Acido citrico; NAC: N acetil cisteina; GSH: Glutazione; PA: Acido propionico; NaE: Eritorbato di sodio; IAA: acido isoascorbico.

mele a cubetti, utilizzando un *dipping* composto da 1% AA+0.2% di acido citrico. Soliva-Fortuny *et al.* (2001) hanno concluso che un trattamento a base di AA all'1% + 0.5 % di CaCl₂ consentiva di ridurre considerevolmente l'imbrunimento (dal 31 al 62%) di mele cubettate conservate 3 mesi.

Di particolare interesse risultano le formulazioni contenenti AA e calcio che agiscono contemporaneamente sia sulla struttura della parete cellulare prevenendo i danni conseguenti alle lavorazioni, sia riducendo gli effetti della PPO nelle cellule danneggiate (Toivonen e Brummell, 2008).

Pertanto, fra i derivati dell'AA riscuote attenzione l'ascorbato di calcio che è il principale costituente di alcuni prodotti commerciali adesso divenuti di uso comune nell'industria della frutta IV gamma. Chiabrando e Giacalone (2013), hanno rilevato l'efficacia del prodotto commerciale NatureSeal® su mele 'Golden Delicious' minimamente trasformate e conservate in atmosfera modificata. L'attività della PPO è risultata inibita sia dal prodotto commerciale che da

concentrazione del 3% di ascorbato di calcio e anche il colore, misurato come whiteness index (WI) dopo 5 giorni di stoccaggio, è risultato migliore nei campioni trattati con il prodotto commerciale (fig. 3). Recentemente l'ascorbato di calcio ad elevate concentrazioni (6%), associato a trattamenti con acqua calda (48°C per 2 min) ha permesso di conservare mele 'Braeburn' di IV gamma per 21 giorni. I due trattamenti associati hanno limitato lo sviluppo microbiologico, contenuto l'imbrunimento e migliorato la capacità antiossidante (Aguayo *et al.*, 2015).

L'AA e l'ascorbato di calcio sono spesso usati efficacemente in associazione ad altri trattamenti come acidi organici, sali di calcio, atmosfere modificate o trattamenti fisici (tab. 1).

L'efficacia dell'AA e dei suoi derivati è tuttavia limitata nel tempo, per questo motivo sono stati indagati altri prodotti che risultino ugualmente efficaci.

Fra questi alcuni acidi organici, che hanno l'effetto di abbassare il pH e inibire pertanto l'attività degli enzimi responsabili degli imbrunimenti ossidativi.

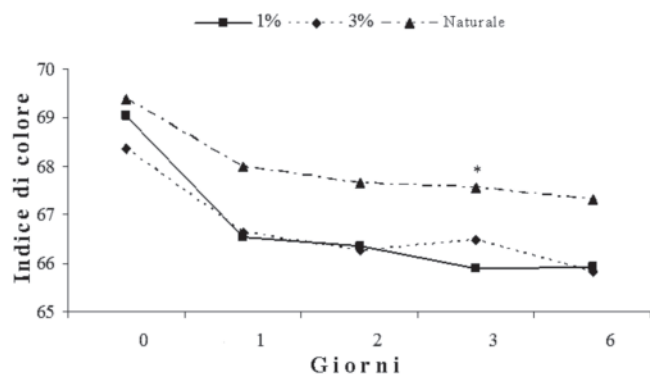


Fig. 3 - Evoluzione dell'indice di colore in mele *fresh cut* trattate con differenti concentrazioni di ascorbato di Calcio (1 e 3%) e NatureSeal® e conservate 6 giorni a 4°C (da Chiabrando e Giacalone, 2013).

Fig. 3 - Changes in Withness Index values of fresh cut apple dipped into 1% or 3% calcium ascorbate solution and NatureSeal® solution, packaged in modified atmosphere and stored for 6 days at 4 °C (Chiabrando and Giacalone, 2013).

L'attività enzimatica è infatti estremamente limitata a pH inferiori a 4,5 (Whitaker, 1995). L'efficacia degli acidi organici, acido citrico e isocitrico in particolare, da soli o in associazione ad altri trattamenti è rilevabile nei lavori di Pizzocaro *et al.* (1993), Jiang e Fu (1998), Chiabrando e Giacalone (2012), Chen *et al.* (2016) (fig. 4).

L'acido citrico, impiegato a questo scopo, ha una azione duplice: riduce il pH e ha azione chelante sullo ione Cu^{2+} , presente nel sito attivo della PPO, determinando in definitiva l'inattivazione dell'enzima. Normalmente, tuttavia, l'acido citrico da solo non è sufficiente a mantenere gli standard di colore desiderati, pertanto è sovente impiegato in associazione ad altri agenti riducenti (Pizzocaro *et al.*, 1993).

Anche gli acidi ossalico ed ossalacetico hanno mostrato un'efficace attività antiimbrunimento. L'azione di contrasto è evidenziata dai lavori di Son *et al.* (2001) e Yoruk *et al.* (2004) su mele e banane *fresh cut*. Il meccanismo di azione dell'acido ossalico non è ben noto, tuttavia è probabile che la sua efficacia sia riconducibile all'inibizione della PPO, attuata chelando lo ione Cu^{2+} dal sito attivo dell'enzima, poiché l'acido ossalico ha un'elevata attitudine a formare con questo complessi metallici.

Fra i prodotti usati come antiimbrunimento rientrano gli aminoacidi solforati e loro derivati, quali cisteina, N-acetilcisteina e glutazione che sono tutti composti con riconosciuta attività antiossidante. La loro azione consiste nella prevenzione della formazione di pigmenti scuri oppure reagiscono con gli *o*-chinoni, prodotti di ossidazione, formando composti incolori.

Sono stati impiegati con successo per prevenire l'imbrunimento in mele e succhi di frutta (Oms-Oliu *et al.*, 2006; Molnar-Perl e Friedman, 1990).

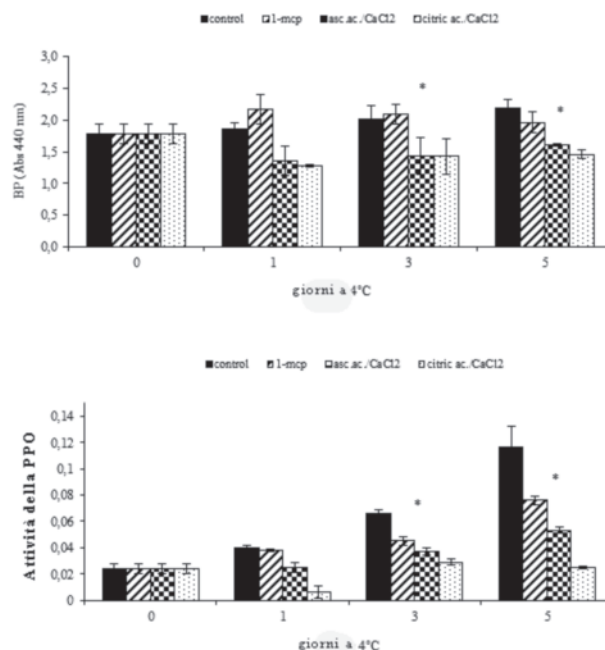


Fig. 4 - Potenziale di imbrunimento (BP) e attività della PPO in mele Granny Smith *fresh cut* trattate con dipping differenti e conservate a 4 °C (da Chiabrando e Giacalone, 2012).

Fig. 4 - Effect of different dipping treatments on potential browning value (BP) and relative PPO activity of Granny Smith slices during storage at 4 °C (Chiabrando and Giacalone, 2012).

Immersioni con soluzioni acquose contenenti N-acetilcisteina e/o glutazione a concentrazioni attorno allo 0.75% sono efficaci nel prevenire l'imbrunimento di mele e pere *fresh cut* (Rojas-Graü *et al.* 2006; Oms-Oliu *et al.*, 2006). Gorny *et al.* (2002) hanno rilevato minori imbrunimenti su pere 'William' minimamente lavorate trattate con una soluzione contenente 2% AA, 1% lattato di calcio, 0,5% cisteina.

Moline *et al.* (1999) hanno rilevato invece che N-acetilcisteina (0,05 M) associata ad acido citrico (0,5 M) è un efficace inibitore di imbrunimento per fettine di banana, che così hanno potuto essere conservate per una settimana.

Allo stesso scopo sono impiegati il resorcinolo ed i suoi derivati. Fra questi, il 4-esilresorcinolo (4-HR), già impiegato come additivo alimentare in prodotti a base di pesce, è considerato essere il più efficace nel controllo dell'imbrunimento di mele e pere *fresh cut* (Oms-Oliu *et al.*, 2006). La struttura del 4-esilresorcinolo, molto affine ai substrati fenolici, potrebbe agire in competizione con questi per l'attività delle PPO. Un'altra ipotesi è che interagisca direttamente con le PPO rendendole inefficace nel catalizzare le reazioni enzimatiche.

La sua applicazione sui prodotti minimamente trasformati è confermata da numerose pubblicazioni in cui si riporta il suo uso da solo o in associazione ad altri agenti riducenti.

Sapers e Miller (1998) hanno sperimentato che il 4-HR in associazione all'eritorbato di sodio ha un benefico effetto sul colore delle pere 'Anjou' *fresh cut*. Dong *et al.* (2000) hanno impiegato, su pere minimamente lavorate una soluzione contenente 0.01% di 4-HR, 0.5% di AA, 1.0% di lattato di calcio. Il trattamento ha consentito di mantenere un accettabile colore dei frutti per i successivi 30 giorni di frigo-conservazione.

Anche gli acidi fenolici hanno azione *antibrowning*, in particolare l'acido kojico, metabolita prodotto da differenti specie di *Aspergillus* e *Penicillium*, a concentrazioni dello 0,05% ha dimostrato la sua efficacia su mele di IV gamma (Son *et al.* 2001). L'azione degli acidi fenolici probabilmente si esplica attraverso differenti meccanismi, sia inibendo l'attività della PPO competendo per gli stessi substrati, sia riducendo gli *o*-chinoni a difenoli incolori, sia interferendo con l'assorbimento di ossigeno, necessario per tutte le reazioni ossidative.

Trattamenti per il mantenimento della consistenza della polpa

La lavorazione della frutta con la rottura delle strutture cellulari che comporta, determina la fuoriuscita anche di altri enzimi. Tra cui quelli pectinolitici e proteolitici, che sono causa della perdita di consistenza e turgore della frutta trasformata al minimo. E' noto come la principale causa della riduzione della consistenza sia la ridotta coesione fra le cellule conseguenza dell'attività degli enzimi pectinolitici che agiscono sui costituenti della lamella mediana a cui fa seguito un aumento della porosità e degli spazi intercellulari. Gli enzimi pectinmetilesterasi (PME) e poligalatturonasi (PG) sono i principali responsabili della perdita di consistenza. L'enzima PME agisce demetilando le pectine, principali costituenti della lamella mediana, ne derivano metanolo e molecole di pectine con basso grado di metilazione. Su queste molecole agisce la PG determinando la rottura dei legami glucosidici con la conseguente degradazione delle pareti cellulari. Le pectine, demetilate, possono formare legami con gli ioni calcio, formando pectati di calcio insolubili con benefici effetti sulla struttura della parete e sulla consistenza della polpa in genere.

L'uso di calcio e dei suoi sali (cloruro, propionato, lattato) è stato sino a ora, il metodo maggiormente utilizzato per il mantenimento delle caratteristiche strutturali.

Il CaCl_2 è sempre stato il sale più impiegato nei trattamenti dei frutti minimamente trasformati (tab. 1), su mele e pere i migliori risultati sono stati ottenuti con trattamenti a concentrazioni comprese fra 0,1 e

1% di CaCl_2 (Giacalone e Chiabrando, 2013), mentre su kiwi e melone sono state utilizzate anche concentrazioni più elevate (2,5%) (Agar *et al.* 1999).

L'associazione fra trattamenti con CaCl_2 e MAP (a basse concentrazioni di O_2), ha consentito il mantenimento della consistenza della polpa in melone (Oms-Oliu *et al.*, 2007), pere 'Conference' e mele 'Golden Delicious' (Soliva-Fortuny *et al.*, 2003) *fresh cut* per più settimane.

Il cloruro tuttavia può conferire al prodotto trattato un sapore amaro ed una lieve astringenza percepibile tuttavia solo da un panel addestrato di degustatori.

Recentemente, come fonte alternativa di calcio, è stato usato il lattato di calcio che ha il vantaggio di non conferire sapori anomali ai prodotti trattati e ha anche un'azione antimbrunimento agendo come regolatore di acidità.

La vita di scaffale di pere di IV gamma è stata prolungata trattandole con lattato di calcio (Gorny *et al.*, 2002; Dong *et al.*, 2000). Ma il sale è risultato efficace anche su pesche (Manganaris *et al.*, 2007).

Altri sali utilizzati sono il propionato di calcio e il già citato ascorbato di calcio. In letteratura si riportano esempi di uso efficace di questi sali. Il propionato di calcio utilizzato su mele 'Fuji' ha consentito di preservare l'integrità della struttura della polpa per 2 settimane a 4°C, secondo gli autori, l'efficacia è dovuta sia allo ione Ca che all'inattivazione dell'enzima PME (Quiles *et al.*, 2007). Anche l'ascorbato di calcio è risultato efficace sul mantenimento della consistenza, utilizzato su mele 'Gala' *fresh cut*, ne ha ridotto la perdita di consistenza di circa il 13% dopo 3 settimane a 10°C (Fan *et al.*, 2005).

Rivestimenti edibili (Edible coatings)

I *coatings* edibili sono rivestimenti alimentari (a base di proteine, polissaccaridi, o lipidi) che vengono applicati sulla superficie degli alimenti. Queste coperture eduli hanno la funzione primaria di proteggere l'alimento dalle perdite di acqua e dagli agenti fisici e biologici, che sono responsabili del deterioramento igienico-sanitario e qualitativo. Una seconda funzione è quella di migliorare le proprietà strutturali e meccaniche dell'alimento.

Per queste caratteristiche l'utilizzo dei rivestimenti edibili è stato proposto per prolungare la vita di scaffale anche dei prodotti minimamente trasformati. I rivestimenti formando una pellicola continua sulle superfici, costituiscono una barriera alle perdite di acqua, alle ossidazioni e alle contaminazioni microbiche, inoltre possono veicolare sostanze diverse (antimicrobiche, antiossidanti o sali di calcio) finalizzate al mantenimento della qualità.

L'uso di rivestimenti con proprietà antimicrobiche o che incorporano sostanze antimicrobiche è riportato da differenti autori.

Fra le sostanze impiegate a questo scopo si colloca il chitosano, derivato dall'esoscheletro di crostacei, che forma film di natura polisaccaridica. La sua azione antimicrobica è stata rilevata su mango (Chien *et al.*, 2007), mele (Assis e Pessoa, 2004) e fragole (Han *et al.*, 2005). Romanazzi *et al.*, (2002) riportano dell'inibizione da parte del chitosano della proliferazione di funghi e batteri mentre Park *et al.* (2005) hanno osservato che su fragole rivestite con un *coating* a base di chitosano si verificava una forte diminuzione di *Cladosporium* spp. e *Rhizopus* spp.

I possibili rivestimenti con proprietà antimicrobiche sono tuttavia molteplici, recentemente sulla frutta *fresh cut* è stato proposto il gel di *Aloe vera*, che ha una comprovata attività antifungina (Martinez-Romero *et al.*, 2003). Valverde *et al.* (2005) e Martinez-Romero *et al.* (2006) lo hanno utilizzato in un rivestimento su ciliegie e uva da tavola, l'*Aloe vera* è risultata efficace nel ridurre la proliferazione microbica, ma ha avuto anche effetti positivi sul contenimento della perdita di umidità, sul mantenimento della consistenza e sul controllo dell'attività respiratoria.

Alle proprietà dei singoli rivestimenti, è possibile affiancare l'azione di sostanze di natura differente che, incorporate nei film possono risultare efficaci sotto diversi aspetti. Sono stati indagati allo scopo acidi organici, esteri di acidi grassi (glicerolo monolaurato), polipeptidi (lisozimi, perossidasi, nisina) e soprattutto oli essenziali (origano, cannella, citronella) (Franssen e Krochta, 2003). Lee *et al.* (2003) hanno prolungato la vita di scaffale di mele a fette per più di due settimane usando un *coating* di carragenina in cui erano stati inglobati AA, citrico e ossalico. Rojas-Grau *et al.* (2007) hanno evidenziato l'efficacia su mele *fresh cut* di *coatings* a base di alginato e gomma di gellano in cui erano stati incorporate oli essenziali di citronella, origano e vanillina.

Risultati simili per Raybaudi-Massilia *et al.* (2008), che hanno osservato come l'aggiunta di oli essenziali di cannella e citronella o dei loro composti attivi, ad un *coating* a base di alginato, riducesse la presenza di *Escherichia coli* di 4 unità log CFU/g su mele 'Fuji' IV gamma e ne prolungasse pertanto la *shelf life* fino a 30 giorni. Gli stessi autori hanno anche valutato l'efficacia su melone minimamente lavorato di un *coating* di alginato di sodio contenente acido malico e oli essenziali di cannella, palmarosa e citronella. In particolare il 3% di olio di palmarosa è risultato utile a inibire la proliferazione del microbiota presente ed anche a contrastare l'inoculo di

Saccharomices enteritidis, mantenendo nel contempo adeguate le caratteristiche del prodotto.

I rivestimenti edibili sono spesso utilizzati per ridurre gli effetti dell'imbrunimento enzimatico, utilizzati cioè come vettori di sostanze antiossidanti (Baldwin *et al.*, 1996; Rojas-Grau *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2008a,b). Baldwin *et al.* (1996) hanno dimostrato la maggiore efficacia antiossidante dell'AA su mele se incorporato in un rivestimento. Analogamente N-acetilcisteina o glutatione incorporati in film di alginato o gomma di gellano sono risultati efficaci nel prevenire l'imbrunimento di mele, pere e papaya *fresh cut* (Rojas-Grau *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2008b). Allo scopo, sono stati indagati molti formulati (AA, acido sorbico, cisteina, 4HR), valutando la possibilità di inglobarli nei differenti *coatings* (polisaccaridi, proteine, lipidi). Studi su pere (Olivas *et al.*, 2003) e mele (Rojas-Grau *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2008 a,b) sembrano dimostrare che l'efficacia delle differenti sostanze applicate è maggiore se incluse in un *coating*. Inoltre i rivestimenti addizionati con prodotti antimbrunimento sono spesso interessanti anche per quanto riguarda la qualità microbiologica (Rojas-Grau *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2008b) e il mantenimento delle proprietà nutritive. L'effetto barriera che i rivestimenti producono, favoriscono la conservazione del contenuto in Vit C, dei fenoli totali e della capacità antiossidante (Tapia *et al.*, 2008; Oms-Oliu *et al.*, 2008a,b).

Anche i sali di calcio possono essere inglobati nella stessa maniera, determinando dei benefici effetti sul mantenimento della consistenza (Rojas-Grau *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2008a,b; Lee *et al.*, 2003). Il CaCl₂, ad esempio, utilizzato in associazione a *coatings* di natura polisaccaridica come l'alginato o la gomma di gellano, o a rivestimenti di natura proteica, ha minimizzato la perdita di consistenza di mele e melone *fresh cut* (Rojas-Grau *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2008a). L'efficacia è legata alla formazione di legami fra lo ione calcio e le pectine che aumentano la resistenza delle pareti e rendono più saldi i legami fra le cellule (Soliva-Fortuny *et al.*, 2003; Dong *et al.*, 2000).

La perdita di acqua è poi uno dei maggiori problemi della frutta minimamente trasformata a cui i rivestimenti vogliono porre rimedio. Le pellicole formate dai rivestimenti costituiscono una barriera al rilascio di acqua. I sali di calcio legandosi ai polimeri utilizzati per i rivestimenti sono risultati efficaci anche nel prevenire le perdite di peso causate dalla trasmissione di acqua. Wong *et al.* (1994) riportano una riduzione di circa 12-14 volte la perdita di acqua da parte di mele *fresh cut* rivestite con un film edibile a doppio

strato (polissacaridi/lipidi) in cui era contenuto CaCl_2 . Risultati simili sono stati riportati da Montero-Calderon *et al.* (2008), che hanno osservato una notevole riduzione nel calo ponderale in ananas a fette rivestito con un *coating* di alginato e CaCl_2 . Tuttavia gli effetti dei sali di calcio sono più evidenti sulla struttura dei tessuti piuttosto che sui cali ponderali poiché l'intenerimento è direttamente attribuibile alla degradazione cellulare. Il gluconato di calcio è un altro sale che incluso in *coatings* differenti ha fornito risultati interessanti. Associato al chitosano ha contribuito ad estendere la vita di scaffale di fragole, che hanno mantenuto una buona consistenza della polpa, senza comprometterne l'aspetto (Hernandez-Muñoz *et al.*, 2008).

Atmosfere modificate

Il confezionamento in atmosfera modificata (MAP) è un sistema di conservazione molto utilizzato per i prodotti di IV gamma. Si può associare ai trattamenti visti in precedenza o può essere considerato un trattamento a sé stante. Il sistema implica la modificazione nella composizione dell'atmosfera che circonda il prodotto imballato. Generalmente si agisce sulla concentrazione di O_2 e CO_2 poiché bassi livelli di ossigeno ed elevate concentrazioni di anidride carbonica determinano una riduzione dell'intensità respiratoria con benefici effetti sul prolungamento della vita di scaffale, essendo i fenomeni legati alla senescenza fortemente rallentati.

L'atmosfera modificata può essere ottenuta passivamente sfruttando la respirazione dei frutti, oppure attivamente, in tal caso all'interno della confezione viene introdotta una miscela di gas a concentrazioni note di O_2 e CO_2 . In entrambi i casi una volta sigillata la confezione non è più possibile operare alcuna modifica sull'atmosfera all'interno e le concentrazioni gassose cambieranno in funzione dell'intensità respiratoria e della permeabilità dei film utilizzati. Il rischio è quello che si realizzino livelli troppo bassi di O_2 con conseguenti fenomeni fermentativi che possono determinare la formazione di acetaldeide e la comparsa di difetti olfattivi.

La concentrazione atmosferica ottimale è funzione di differenti fattori, primo fra tutti la tipologia di prodotto. Generalmente i prodotti *fresh cut* sono più tolleranti nei confronti di elevate concentrazioni di CO_2 , poiché la resistenza ai fenomeni diffusivi è minore.

Esiste una vastissima letteratura relativamente alle differenti MAP che possono essere applicate ai frutti minimamente lavorati, l'efficacia delle diverse atmosfere utilizzabili è stata studiata sulle caratteristiche sensoriali e nutrizionali ed anche sulla proliferazione

microbica che in genere è inibita da ridotti livelli di O_2 (Rosnes *et al.*, 2003). Tuttavia in certe condizioni anche in atmosfere povere di O_2 può comunque verificarsi la crescita di microorganismi anaerobi anche patogeni (Soliva-Fortuny e Martín-Belloso, 2003).

I ridotti tenori in O_2 che sono associati alle MAP possono avere un'azione benefica nel ridurre l'attività degli enzimi ossidativi, per la cui azione l'ossigeno è indispensabile. Pertanto le atmosfere modificate risultano efficaci nel contenimento degli imbrunimenti.

Basse concentrazioni di O_2 (0,25–5%) associate a concentrazioni moderatamente elevate di CO_2 (10–20%) sono state utilizzate per mantenere le adeguate caratteristiche estetiche di molti frutti minimamente lavorati, come kiwi (Agar *et al.*, 1999), mango (Rattanapanone *et al.*, 2001) e melone (Oms-Oliu *et al.*, 2007).

Tuttavia le concentrazioni gassose da sole non sono sufficienti ad inibire gli imbrunimenti in frutti che abbiano un elevato contenuto in fenoli. In questi casi le MAP sono efficacemente associate a trattamenti antiossidanti con risultati positivi anche in quei frutti in cui gli imbrunimenti sono di difficile contenimento come mele (Rojas-Grau *et al.*, 2007), pere (Oms-Oliu *et al.*, 2008b), mango (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2000) e banane (Vilas-Boas e Kader, 2006).

E' stato dimostrato che le elevate concentrazioni di CO_2 possono inibire la biosintesi dei composti fenolici. Tuttavia è altrettanto noto che i bassi livelli di O_2 possono tradursi in dannosi fenomeni fermentativi o possono determinare la comparsa di danni da eccesso di CO_2 .

In generale le concentrazioni di ossigeno e anidride carbonica non hanno effetto sulla consistenza della polpa, tuttavia alcuni autori hanno rilevato un lieve contenimento del rammollimento della polpa di banane *fresh cut* con atmosfere contenenti bassi livelli di O_2 (2 e 4 kPa O_2) ed elevate concentrazioni di CO_2 (Vilas-Boas e Kader, 2006). Anche Agar *et al.* (1999) hanno osservato che fettine di kiwi conservate in atmosfera priva di etilene con concentrazioni di 2-4 kPa di O_2 e/o 5-10 kPa di CO_2 subivano un rallentato rammollimento della polpa.

Secondo altri autori invece la perdita di consistenza in pere *fresh cut* può essere correlata con bassi livelli di ossigeno ed alte concentrazioni di CO_2 poiché in queste condizioni sono favoriti i danni cellulari da eccessi di anidride carbonica (Oms-Oliu *et al.* 2008b; Soliva-Fortuny *et al.* 2003).

In alternativa è stata proposta da Day (1996) e Oms-Oliu *et al.* (2008c), l'applicazione di atmosfere arricchite di O_2 . Secondo gli autori le alte concentrazioni di O_2 determinano l'inibizione della PPO e

hanno un positivo effetto nel mantenere la consistenza della polpa.

L'efficacia maggiore delle MAP è tuttavia l'effetto barriera che rappresentano nei confronti delle perdite di acqua. I film utilizzati per la realizzazione dei *packaging* sono studiati per avere una permeabilità selettiva nei confronti dei gas connessi alla respirazione, ma risulta essenziale conoscere anche l'entità della trasmissione del vapore acqueo. L'efficacia in questo ambito è ampiamente comprovata da numerosi lavori presenti in letteratura, anche se per questo aspetto la temperatura di stoccaggio gioca un ruolo determinante nel variare la permeabilità al vapore (Gorny, 1997; Mir e Beaudry, 2004).

Le MAP sono tuttora oggetto di studio sia per quanto riguarda le possibili concentrazioni gassose sia relativamente ai gas impiegati e impiegabili. Le innovazioni riguardano le atmosfere arricchite di O₂ (> 70%), l'utilizzo di gas nobili (He, Ar, N₂O) e soprattutto i differenti materiali utilizzabili per gli imballaggi. A tale proposito è opportuno accennare il crescente interesse rivolto ai biopolimeri per i nuovi *packaging*. Le caratteristiche di questi nuovi materiali sono in fase di studio essendo le caratteristiche di permeabilità e trasmissibilità di gas e vapore acqueo, nonché i requisiti tecnologici di elasticità, flessibilità e macchinabilità in genere, sono profondamente differenti da quelli dei materiali plastici utilizzati fino ad oggi.

Trattamenti innovativi

Accanto a quelli fino a qui esaminati vanno ricordati una serie di interventi di relativa recente introduzione che si basano su strategie di tipo fisico. La richiesta dei consumatori di avere dei prodotti più sani che non abbiano subito trattamenti con prodotti chimici, favorisce l'utilizzo di tali nuove tecnologie, che tuttavia sono ancora piuttosto sperimentali e soprattutto risultano essere molto costose e poco applicabili dalle aziende produttrici.

Questi trattamenti, di natura non termica agiscono prevalentemente sugli inquinamenti di natura microbica ma sono risultati efficaci anche nel ridurre le alterazioni di tipo fisiologico

Radiazione UV-C

Recentemente la luce ultravioletta-C (UV-C) ha richiamato una discreta attenzione per l'eventuale impiego su prodotti minimamente trasformati. Lo spettro compreso fra 200 e 280 nm ha un'efficace e riconosciuta attività germicida e la radiazione UV-C è relativamente semplice da utilizzare e i costi per l'attrezzatura, l'utilizzo e la manutenzione sono fra i più

contenuti in quest'ambito (Bintsis, *et al.*, 2000; Miller, *et al.*, 1999). Inoltre si tratta di un sistema sicuro a cui non si associa il rischio di produrre sottoprodotti tossici o potenzialmente tali.

L'efficacia germicida è dovuta all'azione di danneggiamento del DNA dei microrganismi, la trascrizione e replicazione del DNA risulta bloccata, la funzionalità e di conseguenza la vitalità cellulare è compromessa. L'efficacia della radiazione UV-C nel prolungare la *shelf life* dei prodotti *fresh cut* è stata ancora poco investigata, tuttavia esistono lavori su melone e anguria (Fonseca e Rushing, 2006; Lamikanra *et al.*, 2005) che ne affermano la validità. Alcuni autori (Manzocco *et al.*, 2009) hanno evidenziato come il trattamento inattivi gli enzimi responsabili dell'imbrunimento e i pectinolitici in mele minimamente lavorate. Manzocco *et al.*, (2011) hanno anche valutato l'efficacia della radiazione UV-C su melone cubettato. Il trattamento è stato effettuato durante la lavorazione, prima del confezionamento e il melone è stato poi conservato a 6°C per 14 giorni. I risultati scaturiti hanno fatto registrare l'abbattimento della carica microbica, relativamente alle enterobatteriacee, di due unità logaritmiche rispetto al controllo non trattato. La radiazione non ha avuto effetto peggiorativo né sul colore né sulla consistenza della polpa, mentre è risultata efficace nel contrastare le perdite di umidità e migliorativa nei confronti dell'aroma.

Esistono anche esperienze contrarie: alcuni autori hanno invece verificato un peggioramento delle caratteristiche qualitative dei prodotti trattati con radiazioni UV-C (Hashizume *et al.*, 2007). Pertanto l'utilizzo commerciale di questa tecnica, potenzialmente molto efficace, richiede ulteriori approfondimenti.

Luce pulsata

La luce pulsata (PL) è un trattamento non termico usato prevalentemente per decontaminare le superfici dalla eventuale presenza di microrganismi dannosi o patogeni (Gomez-Lopez *et al.*, 2007). E' generata da lampade allo Xeno che possono produrre brevi ma intensi impulsi luminosi utilizzando un ampio spettro di luce (dall'ultravioletto all'infrarosso).

Nell'ambito dello spettro luminoso, la radiazione UV-C, come già detto in precedenza, è la più efficace nell'inattivazione dei microrganismi. Tuttavia l'efficacia della luce pulsata dipende oltre che dalla lunghezza d'onda, dall'intensità (Jcm⁻²) e dal numero di impulsi prodotti. Può agire attraverso differenti meccanismi che vanno dalle modificazioni chimiche alle alterazioni nella sintesi del DNA, alla denaturazione delle proteine o di altri componenti cellulari (Barbosa-Canovas *et al.*, 2004). Si tratta di una tecni-

ca ampiamente utilizzata per la disinfezione dei materiali da imballo ma recentemente si è rivelata interessante anche per la decontaminazione di alimenti. I prodotti ortofrutticoli sembrano essere i più idonei ad essere trattati con questa tecnica poiché meno ricchi di oli e proteine che limitano l'efficacia del mezzo.

Uno studio di Charles *et al.*, (2013) effettuato su mango pronto al consumo, ha investigato gli effetti del trattamento sulle principali caratteristiche qualitative. Allo scopo sono stati utilizzati impulsi luminosi per una intensità totale di 8 J cm^{-2} . I frutti trattati sono poi stati sottoposti ad una conservazione frigorifera a 6°C per 7 giorni. Dallo studio è emerso che i caratteri qualitativi (colore e consistenza) si sono mantenuti nel tempo meglio che nei frutti di controllo, mentre i caratteri nutritivi (AA, contenuto in fenoli e carotenoidi totali) sono risultati analoghi.

L'effetto di luce pulsata con intensità crescente è stato valutato invece su mele *fresh cut*. Ignat *et al.*, (2014) hanno valutato l'efficacia antimicrobica e le conseguenze sull'aspetto dei frutti. E' emerso che l'azione battericida è indipendente dall'intensità della luce applicata mentre la perdita di peso, il colore e gli attributi sensoriali ne sono fortemente influenzati. In particolare con gli impulsi a bassa intensità si sono ottenuti i migliori risultati in termini di ridotti cambiamenti nelle caratteristiche qualitative.

Gas plasma freddo

Il trattamento con Gas plasma freddo è un altro sistema innovativo non termico sfruttato per la sua azione germicida nella disinfezione delle superfici. Un gas si trasforma in plasma quando le sue particelle, stimulate elettricamente da una fonte esterna, si ionizzano e assumono una carica elettrica. Il plasma è quindi un gas ionizzato, costituito da un insieme di elettroni e ioni. Tuttavia nei gas ionizzati coesistono, oltre agli ioni ed elettroni, anche particelle non cariche, quali atomi e molecole, nonché radicali altamente reattivi. La presenza di queste particelle cariche determina l'instaurarsi di reazioni chimiche, soprattutto ossidazioni, che provocando profonde alterazioni nelle cellule microbiche (ossidazione del DNA, denaturazione delle proteine, perossidazione lipidica), ne determinano la morte (Moreau *et al.*, 2008).

Fino ad oggi il gas plasma freddo è stato impiegato soprattutto in campo medico, tuttavia i suoi possibili impieghi sono molteplici. Recentemente si è ipotizzato di impiegarlo anche nel trattamento di alimenti. Nel campo dei *fresh cut* il plasma risulta di notevole interesse non solo per l'azione decontaminante ma anche per le sue potenzialità nel mantenere elevate le caratteristiche sensoriali. In un recente lavoro Tappi *et al.*

(2014) hanno dimostrato come un trattamento di gas plasma su mele di IV gamma, fosse in grado di inibire i fenomeni enzimatici ossidativi, contenendo i fenomeni di imbrunimento, e contemporaneamente ridurre la carica microbica superficiale. Restano tuttavia da studiare gli effetti di un trattamento fortemente ossidante, sui principi bioattivi dei prodotti frutticoli

Conclusioni

I prodotti di IV gamma rappresentano un'opportunità per il settore frutticolo, consentendo di avvicinare un consumatore sempre più restio a consumare frutta fresca. Con la loro variegata offerta possono infatti incentivare gli acquisti ormai stagnanti da diversi anni e raggiungere fasce di popolazione che non sono, per motivi diversi, attratte dalla frutta tal quale. Le statistiche confermano che gli acquisti di *fresh cut* sono in costante ascesa, tuttavia i prodotti a base frutta sono ancora una porzione molto marginale del totale dei consumi e, nonostante la grande evoluzione che hanno subito, continuano ad essere poco conosciuti e non sufficientemente apprezzati. Le aziende produttrici inoltre sono spesso restie ad aumentare la gamma di prodotti frutticoli *ready to eat*, poiché l'elevata deperibilità, la difficile gestione delle lavorazioni e gli abbondanti scarti ne fanno una produzione rischiosa.

La possibilità di sfruttare appieno le potenzialità di tali prodotti passa attraverso un miglioramento delle caratteristiche sensoriali ed una prolungata *shelf life*. I consumatori, poi, devono percepire che il prodotto acquistato è sano e igienicamente sicuro, e che ha subito trattamenti minimi.

Perché ciò si realizzi è necessaria da una parte una cura maggiore nella scelta della materia prima, dall'altra un miglioramento delle tecniche di lavorazione.

La frutta destinata alla IV gamma deve essere adeguatamente matura per avere i requisiti di qualità gustativa richiesti dal consumatore, ma nel contempo deve essere lavorabile con minimi scarti, pertanto vanno scelte specie e cultivar caratterizzate da elevata consistenza della polpa e da ridotta attività enzimatica, che è connessa con tutti i processi degenerativi di cui si è precedentemente fatto cenno. Anche per la frutta è pertanto necessario individuare le tipologie da dedicare a queste lavorazioni arrivando probabilmente a produzioni dedicate.

Per quanto riguarda i trattamenti atti a prolungare la *shelf life*, oltre a sottolineare la necessità di mantenere il più possibile continua la catena del freddo, appare evidente la necessità di privilegiare quelli che meno impattano con il prodotto finale favorendo tutti quegli interventi meno percepibili dal consumatore

come alterazione del prodotto. I trattamenti possibili, come precedentemente riportato, sono molti e differenti, tuttavia non tutti sono compatibili con l'immagine di prodotto naturale che i *fresh cut* vogliono trasmettere. Infatti anche se tutti i trattamenti esaminati si conciliano con un consumo esente da rischi, tuttavia non tutti incontrano il favore del consumatore. Occorre far leva sulle caratteristiche di salubrità del prodotto e pertanto le lavorazioni dovranno andare in questa direzione. Anche gli sforzi della ricerca dovranno essere indirizzati in questo senso, privilegiando gli studi relativi a quegli interventi che meno alterino le caratteristiche della frutta lavorata e che più ne conservino i peculiari caratteri di qualità.

Infine un cenno va fatto ai costi di lavorazione, i prodotti *ready to eat* richiedono procedimenti costosi, a cui si aggiungono gli scarti che sono sempre piuttosto rilevanti. Qualsiasi intervento proposto deve tenere conto dei costi aggiuntivi che determina, pertanto alcune delle soluzioni esistenti, pur essendo estremamente interessanti ed efficaci, risultano ben lungi dall'essere praticabili fino a che non saranno economicamente realizzabili.

Riassunto

La frutta di IV gamma rappresenta un comparto produttivo di notevole interesse poiché è fra i pochi settori ortofrutticoli che non ha subito contrazioni ma, al contrario, ha visto aumentare i suoi consumi. Tuttavia, trattandosi di prodotti fortemente deperibili a causa delle lavorazioni subite, necessitano di particolari cure per mantenerne inalterate le caratteristiche sensoriali, nutritive e igienico sanitarie e per prolungarne la vita di scaffale. Il presente lavoro si propone di illustrare i principali trattamenti connessi con le lavorazioni di quarta gamma che interessano la frutta, analizzando sia i trattamenti di uso comune, sia quelli più innovativi che, pur essendo promettenti, sono ancora in fase sperimentale per i costi elevati che li caratterizzano.

Parole chiave: IV gamma, colore, imbrunimenti ossidativi, antiossidanti, consistenza della polpa, atmosfere modificate.

Bibliografia

AGAR I.T., MASSANTINI R., HESS-PERCE B., KADER A.A., 1999. *Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices*. J Food Sci, 64: 433-440

AGUAYO E., REQUEJO-JACKMAN C., STANLEY R., WOOLF A., 2015. *Hot water treatment in combination with calcium ascorbate dips increases bioactive compounds and helps to maintain fresh-cut apple quality*. Postharvest Biol Technol, 110: 158-

165.

ALOTHMAN M., KAUR B., FAZILAH A., BHAT R., KARIM A.A., 2010. *Ozoned-induced changes of antioxidant of fresh-cut tropical fruits*. Innov Food Sci Emerg Technol, 11: 666-671

ASSIS O.B., PESSOA J.D., 2004. *Preparation of thin films of chitosan for use as edible coatings to inhibit fungal growth on sliced fruit*. Braz J Food Technol, 7: 7-22.

BACARELLA S., TIMPANARO G., 2007. *Analisi della produzione e del mercato dei prodotti di IV gamma in Italia*. In: I prodotti di IV gamma in Europa e in Italia. Regione Sicilia - CORREAS, Palermo, Italia: 106-189

BALDWIN E.A., NISPERO-CARRIEDO M.O., CHEN X., HAGENMAIER R.D., 1996. *Improving storage life of cut apple and potato with edible coating*. Postharvest Biol Technol, 9: 151-163.

BARBOSA-CANOVAS G. V., SCHAFFNER D., PIERSON M. D., ZHANG Q. H., 2004. *Pulsed light technology*. J Food Sci, 82-85 (Suppl.).

BETT K. L., INGRAM D. A., GRIMM C. C., LLOYD S. W., SPANIER A. M., MILLER J. M., GROSS K. C., E.A. BALDWIN E.A., VINYARD B.T., 2001. *Flavor of fresh-cut Gala apples in barrier film packaging as affected by storage time*. J of Food Quality, 24(2): 141-156.

BINTSIS T., LITOPOULOU-TZANETAKI E., ROBINSON R. K., 2000. *Existing and potential applications of ultraviolet light in food industry - a critical review*. J Sci Food Agr, 80: 637-645

BURT S., 2004. *Essential oils: their antimicrobial properties and potential applications in food—a review*. Int. J. Food Microbiol, 94: 223-253.

CHARLES F., VIDAL V., OLIVE F., FILGUEIRAS, H., SALLANON H., 2013. *Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes*. Innov Food Sci Emerg Tech, 18: 190-195.

CHEN C., HU W., HE Y., JIANG A., ZHANG R., 2016. *Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples*. Postharvest Biol Tech, 111: 126-131.

CHIABRANDO V., GIACALONE G., 2013. *Maintaining quality of fresh-cut apple slices using calcium ascorbate and stored under modified atmosphere*. Acta Aliment Hung, 42(2): 245-255.

CHIABRANDO V., GIACALONE G., 2012. *Effect of antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut apples during cold storage*. J Food Process Pres, 36: 133-140.

CHIEN P.J., SHEU F., YANG F.H., 2007. *Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit*. J Food Eng, 78: 225-229.

DAY B. P.F., 1996. *High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce*. Postharv News Inform, 7:31-34

DONG X., WROLSTAD R. E., SUGAR D., 2000. *Extending shelf life of fresh-cut pears*. J Food Sci, 65: 181-186

DORANTES-ALVAREZ L., PARADA-DORANTES L., ORTIZ-MORENO A., SANTIAGO-PINEDA T., CHIRALT-BOIX A., BARBOSA-CANOVAS G., 1998. *Effect of anti-browning compounds on the quality of minimally processed avocados*. Food Science Tech Int, 4(2): 107-113.

DORMAN H.J.D., DEANS S.G., 2000. *Antimicrobial agents from plant: antibacterial activity of plant volatile oils*. J Appl Microbiol, 88: 308-316.

FAN X., NIEMERA B.A., MATTHEIS J.P., ZHUANG H., OLSON, D.W., 2005. *Quality of fresh cut apple slices as affected by low-dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment*. J Food Sci, 70: S143-S148.

FAWELL J., 2000. *Risk Assessment Case Study - Chloroform and Related Substances*. Food Chem Toxicol, 38 (1): S91-S95

FONSECA J. M., RUSHING J. W., 2006. *Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon*. Postharvest Biol Tech, 40: 256-261.

FRANSSSEN L.R., KROCHTA J.M., 2003. *Edible coatings containing natural antimicrobials for processed foods*. In: Roller S. (Ed.), Natural Antimicrobials for Minimal Processing of

- Foods. CRC Press, Boca Raton, Cambridge, UK: 250–262.
- GIACALONE G., CHIABRANDO V., 2013. *Effect of different treatments with calcium salts on sensory quality of fresh-cut apple*. J Food Nutr Res, 52(2): 79–86
- GOMEZ-LOPEZ V. M., RAGAERT P., DEBEVERE J., DEVLIEGHERE F., 2007. *Pulsed light for food decontamination: a review*. Trends Food Sci Tech, 18: 464–473.
- GONZALEZ-AGUILAR G.A., WANG C.Y., BUTA J.G., 2000. *Maintaining quality of fresh cut mangoes using antibrowning agents and modified atmosphere packaging*. J Agric Food Chem, 48: 4202–4208
- GORNY J.R., HESS-PIERCE B., CIFUENTES R.A., KADER A.A., 2002. *Quality changes in fresh cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives*. Postharvest Biol Technol, 24: 271–278
- GORNY J.R., 1997 *A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh –cut (minimally processed) fruits and vegetables*. Proc 7th Intl Controlled Atmosphere Res. Conf, 5: 30–66
- HAN C., LEDERER C., MCDANIEL M., ZHAO Y., 2005. *Sensory evaluation of fresh strawberries (Fragaria ananassa) coated with chitosan-based edible coatings*. J Food Sci, 70: S172–S178
- HASHIZUME M., GORDON M. H., MOTTRAM D. S., 2007. *Light-induced off-flavor development in cloudy apple juice*. J Agr Food Chem, 55: 9177–9182.
- HERNÁNDEZ-MUNOZ P., ALMENAR E., DEL VALLE V., VELEZ D., GAVARA R., 2008. *Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (Fragaria×ananassa) quality during refrigerated storage*. Food Chem, 110: 428–435.
- HURST W.C., 1995. *Sanitation of lightly processed fruits and vegetables*. Hort Sci, 30:22–24
- IGNAT A., MANZOCCO L., MAIFRENI M., BARTOLOMEOLI I., NICOLI M. C., 2014. *Surface decontamination of fresh-cut apple by pulsed light: Effects on structure, colour and sensory properties*. Postharvest Biol Tech, 91: 122–127.
- IYENGAR R., MCEVILY A.J., 1992. *Anti-browning agents: alternatives to the use of sulfites in foods*. Trends Food Sci Tech, 3: 60–64
- JAY J. M., LOESSNER M. J., GOLDEN D. A., 2005. *Modern food microbiology*, 7th ed. New York: Springer
- JIANG Y., FU J., 1998. *Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid*. Food Chem, 62(1): 49–52
- LAMIKANRA O., CHEN J.C., BANKS D., HUNTER P.A., 2000. *Biochemical and microbial changes during the storage of minimally processed cantaloupe*. J Agr Food Chem, 48: 5955–5961.
- LAMIKANRA O., KUENEMAN D., UKUKU D., BETT-GARBER K. L., 2005. *Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh-cut cantaloupe melon*. J Food Sci, 70(9): C534–C539.
- LANCIOTTI R., GIANOTTI A., PATRIGNANI F., BELLETTI N., GUERZONI M.E., GARDINI F., 2004. *Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits*. Trends Food Sci Technol, 15: 201–208
- LANCIOTTI R., CORBO M. R., GARDINI F., SINIGAGLIA M., GUERZONI M. E., 1999. *Effect of hexanal on the shelf life of fresh apple slices*. J Agr Food Chem, 47: 4769–4776
- LARSON A. E., JOHNSON E. A., 1999. *Evaluation of botulinum toxin production in packaged fresh-cut cantaloupe and honeydew melons*. J Food Protect, 62: 948–952.
- LEE J.Y., PARK H.J., LEE, C.Y., CHOI W.Y., 2003. *Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents*. LWT-Food Sci Technol, 36: 323–329
- LOPEZ-GALVEZ F., GIL M. I., TRUCHADO P., SELMA M. V., ALLENDE A., 2010. *Cross-contamination of fresh-cut lettuce after a short-term exposure during pre-washing cannot be controlled after subsequent washing with chlorine dioxide or sodium hypochlorite*. Food Microbiol, 27: 199–204
- MACHEIX J. J., FLEURIET A., BILLOT J., 1990. *Fruit phenolics*. 1990. CRC Press: Boca Raton, FL, 1990; 109.
- MANGANARIS G.A., VASILAKAKIS M., DIAMANTIDIS G., MIGNANI I., 2007. *The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits*. Food Chem, 100, 1385–1392.
- MANZOCCO L., DA PIEVE S., MAIFRENI M., (2011). *Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon*. Innovat Food Sci Emerg Tech, 12(1): 13–17
- MARTIN-BELLOSO O., SOLIVA-FORTUNY R., OMS-OLIU G., 2006. *Fresh-cut fruits*. In: Hui Y.H. (Ed.), Handbook of Fruits and Fruit Processing. Blackwell Publishing, Oxford: 129–144.
- MARTÍNEZ-ROMERO D., ALBURQUERQUE N., VALVERDE J.M., GUILLÉN F., CASTILLO S., VALERO D., SERRANO M., 2006. *Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: a new edible coating*. Postharvest Biol Technol, 39: 93–100.
- MILLER R., JEFFREY W., MITCHELL D., ELASRI M., 1999. *Bacteria responses to ultraviolet light*. Am Society Microb, 65: 535–541.
- MIR N., BEAUDRY R.M., 2004. *Modified atmosphere packaging*. In: K.C. Gross, C.Y. Wang, and M.E. Saltveit (Eds.). The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks,
- USDA Handbook 66. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/015map.pdf>
- MOLINE H.E., BUTA J.G., NEWMAN I.M., 1999. *Prevention of browning of banana slices using natural products and their derivatives*. J. Food Qual, 22: 499–511
- MOLNAR-PERL I., FRIEDMAN M., 1990. *Inhibition of browning by sulfur amino acids. Fruit juices and protein containing foods*. J Agric Food Chem, 38: 1648–1651
- MONTERO-CALDERÓN M., ROJAS-GRAU M.A., MARTÍN-BELLOSO O., 2008. *Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (Ananas comosus)*. Postharvest Biol Technol, 50: 182–189.
- MOREAU M., ORANGE N., FEUILLOLEY M. G. J., 2008. *Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination*. Biotechnol Adv, 26: 610–617.
- NGARMSAK M., DELAQUIS P., TOIVONEN P., NGARMSAK T., OORAIKUL B., MAZZA G., 2006. *Antimicrobial activity of vanillin against spoilage microorganisms in stored fresh-cut mangoes*. J Food Prot, 69: 1724–1727
- OLIVAS G.I., RODRIGUEZ J.J., BARBOSA-CÁNOVAS G.V., 2003. *Edible coatings composed of methylcellulose stearic acid, and additives to preserve quality of pear wedges*. J Food Process Preserv, 27: 299–320
- OMS-OLIU G., SOLIVA-FORTUNY R., MARTÍN-BELLOSO O., 2008a. *Using polysaccharide based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon*. LWT-Food Sci Technol, 41: 1862–1870.
- OMS-OLIU G., SOLIVA-FORTUNY R., MARTÍN-BELLOSO O., 2008b. *Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears*. Postharvest Biol Technol, 50:87–94
- OMS-OLIU G., MARTÍNEZ R. R. M., SOLIVA-FORTUNY R., MARTÍN-BELLOSO O., 2008 c. *Effect of superatmospheric and low oxygen modified atmospheres on shelf-life extension of fresh-cut melon*. Food Control, 19(2): 191–199.
- OMS-OLIU G., SOLIVA-FORTUNY R., MARTÍN-BELLOSO O., 2007. *Effect of ripeness on the shelf-life of fresh-cut melon preserved by modified atmosphere packaging*. Eur Food Res Technol, 225: 301–311
- OMS-OLIU G., AGUILÓ-AGUAYO I., MARTÍN-BELLOSO O., 2006. *Inhibition of browning on fresh-cut pear wedges by natural*

- compounds. *J Food Sci*, 71: S216–S224.
- ONGENG D., DEVLIEGHERE F., DEBEVERE J., COOSEMANS J., RYCKEBOER J., 2006. *The efficacy of electrolysed oxidising water for inactivating spoilage microorganisms in process water and on minimally processed vegetables*. *Int J Food Microbiol*, 109: 187–197.
- PAO S., PETRACEK P.D., 1997. *Shelf life extension of peeled oranges by citric acid treatment*. *Food Microbiol*, 14 (5): 485–491.
- PARK S.I., STAN S.D., DAESCHEL M.A., ZHAO Y.Y., 2005. *Antifungal coatings on fresh strawberries (Fragaria × ananassa) to control mold growth during cold storage*. *J Food Sci*, 70: M202–M207.
- PIZZOCARO F., TORREGIANI D., GILARDI G., 1993. *Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride*. *J Food Process Preserv*, 17, 21–30.
- PORTELA S. I., CANTWELL M. I., 2001. *Cutting blade sharpness affects appearance and other quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon*. *J Food Sci*, 66: 1265–1270.
- QUILES A., HERNANDO I., PÉREZ-MUNUERA I., LLUCH M.A., 2007. *Effect of calcium propionate on the microstructure and pectin methylesterase activity in the parenchyma of fresh-cut Fuji apples*. *J Sci Food Agric*, 87: 511–519.
- RATTANAPANONE N., LEE Y., WU T., WATADA A. E., 2001. *Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere*. *HortSci*, 36(6): 1091–1095.
- RAYBAUDI-MASSILIA R.M., ROJAS-GRAÜ M.A., MOSQUEDA-MELGAR J., MARTÍN-BELLOSO O., 2008. *Comparative study on essential oils incorporated into an alginate-based edible coating to assure the safety and quality of fresh-cut Fuji apples*. *J Food Prot*, 71: 1150–1161.
- RICO D., MARTÍN-DIANA A.B., BARAT J.M., BARRY-RYAN C., 2007. *Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review*. *Trends Food Sci Tech*, 18: 373–386.
- ROCHA A.M.C.N., BROCHADO C.M., MORAIS A.M.M.B., 1998. *Influence of chemical treatment on quality of cut apple (cv. Joangored)*. *J Food Qual*, 21:13–28.
- ROJAS-GRAÜ M.A., RAYBAUDI-MASSILIA R.M., SOLIVA-FORTUNY R.C., AVENA-BUSTILLOS R.J., MCHUGH T.H., MARTÍN-BELLOSO O., 2007. *Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples*. *Postharvest Biol Technol*, 45: 254–264.
- ROJAS-GRAÜ M. A., SOBRINO-LOPEZ A., TAPIA M. S., MARTÍN-BELLOSO O., 2006. *Browning inhibition in fresh-cut Fuji apple slices by natural antibrowning agents*. *J Food Sci*, 71(1): S59–S65.
- ROMANAZZI G., NIGRO F., IPPOLITO A., DI VENERE D., SALERNO M., 2002. *Effects of pre- and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes*. *J Food Sci*, 67: 1862–1867.
- ROSNES J. T., SIVERTSVIK M., SKARA T., 2003. *Combining MAP with other preservation techniques*. In: R. Ahvenainen (Ed.), *Novel food packaging techniques*. Cambridge, England: 390–420.
- ROLLER S., SEEDHAR P., 2002. *Carvacrol and cinnamic acid inhibit microbial growth in fresh-cut melon and kiwifruit at 4 and 8 °C*. *Lett Appl Microbiol*, 35: 390–394.
- RUPASINGHE H.P., BOULTER-BITZER J., AHN T., ODUMERU J., 2006. *Vanillin inhibits pathogenic and spoilage microorganisms in vitro and aerobic microbial growth in fresh-cut apples*. *Food Res Int*, 39: 575–580.
- SAPERS G. M., MILLER R. L., 1998. *Browning Inhibition in Fresh-Cut Pears*. *J Food Sci*, 63: 342–346.
- SELMA M.V., IBANEZ A. M., CANTWELL M., SUSLOW T., 2008. *Reduction by gaseous ozone of Salmonella and microbial flora associated with fresh-cut cantaloupe*. *Food microbiol*, 25(4): 558–565.
- SILVEIRA A.C., MOREIRA G.C., ARTÉS F., AGUAYO E., 2015. *Vanillin and cinnamic acid in aqueous solutions or in active modified packaging preserve the quality of fresh-cut Cantaloupe melon*. *Sci Horti*, 192: 271–278.
- SOLIVA-FORTUNY R.C., LLUCH M.A., QUILES A., GRIGELMO-MIGUEL N., MARTÍN-BELLOSO O., 2003. *Evaluation of textural properties and microstructure during storage of minimally processed apples*. *J Food Sci*, 68, 312–317.
- SOLIVA-FORTUNY R. C., MARTÍN-BELLOSO O., 2003. *New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review*. *Trends Food Sci Tech*, 14(9): 341–353.
- SOLIVA-FORTUNY R.C., GRIGELMO-MIGUEL N., ODRIOZOLA-SERRANO I., GORINSTEIN S., MARTÍN-BELLOSO O., 2001. *Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected by modified atmosphere packaging*. *J Agric Food Chem*, 49: 3685–3690.
- SON S.M., MOON K.D., LEE C.Y., 2001. *Inhibitory effects of various anti-browning agents on apple slices*. *Food Chem*, 73: 23–30.
- SY K. V., MURRAY M. B., HARRISON M. D., BEUCHAT L. R., 2005. *Evaluation of Gaseous Chlorine Dioxide as a Sanitizer for Killing Salmonella, Escherichia coli O157:H7, Listeria monocytogenes, and Yeasts and Molds on Fresh and Fresh-Cut Produce*. *J Food Protect*, 6, 3: 1132–1137.
- TAPIA, M.S., RODRÍGUEZ, F.J., ROJAS-GRAÜ, M.A., MARTÍN-BELLOSO, O., 2005. *Formulation of alginate and gellan based edible coatings with antioxidants for fresh-cut apple and papaya*. IFT Annual Meeting. Paper 36E-43, New Orleans, USA.
- TAPIA M.S., ROJAS-GRAÜ M.A., CARMONA A., RODRÍGUEZ F.J., SOLIVA-FORTUNY R., MARTÍN-BELLOSO O., 2008. *Use of alginate and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya*. *Food Hydrocolloids*, 22: 1493–1503.
- TAPPI S., BERARDINELLI A., RAGNI L., DALLA ROSA M., GUARNIERI A., ROCCOLI P., 2014. *Atmospheric gas plasma treatment of fresh-cut apples*. *Innov Food Sci Emerg Tech*, 21: 114–122.
- TOIVONEN P.M.A., BRUMMELL D.A., 2008. *Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables*. *Postharvest Biol Technol*, 48, 1–14.
- VALVERDE J.M., VALERO D., MARTÍNEZ-ROMERO D., GUILLÉN F., CASTILLO S., SERRANO M., 2005. *Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety*. *J Agric Food Chem*, 53, 7807–7813.
- VAZQUEZ B.I., FENTE C., FRANCO C.M., VAZQUEZ M.J., CEPEDA A., 2001. *Inhibitory effects of eugenol and thymol on Penicillium citrinum strains in culture media and cheese*. *Int J. Food Microbiol*, 67: 157–163.
- VILAS-BOAS E. V. D. B., KADER A. A., 2006. *Effect of atmospheric modification, 1-MCP and chemicals on quality of fresh-cut banana*. *Postharvest Biol Tech*, 39(2), 155–162.
- WHITAKER J.R., 1995. *Polyphenol oxidase*. In: Wong, D.W.S. (Ed.), *Food Enzymes, Structure and Mechanism*. Chapman and Hall, New York: 271–307.
- WONG D., TILLIN S.J., HUDSON J.S., PAVLATH A.E., 1994. *Gas exchange in cut apples with bilayer coatings*. *J Agric Food Chem*, 42: 2278–2285.
- YORUK R., YORUK S., BALABAN M.O., MARSHALL M.R., 2004. *Machine vision analysis of antibrowning potency for oxalic acid: a comparative investigation on Banana and apple*. *J Food Sci*, 69: E281–E289.

Sitografia

<http://www.freshplaza.it/article/76066/Frutta-e-verdura-di-IV-gamma-in-ripresa-in-Italia-volumi-valore-e-confezioni-vendute>
<http://www.freshplaza.it/article/76066/Frutta-e-verdura-di-IV-gamma-in-ripresa-in-Italia-volumi-valore-e-confezioni-vendute>